

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 2 年   8 月 2 7 日  
Date of Application:

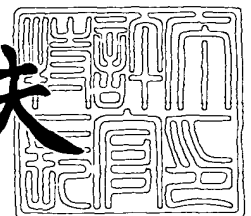
出 願 番 号            特 願 2 0 0 2 - 2 4 7 4 0 3  
Application Number:  
[ST. 10/C] :            [ J P 2 0 0 2 - 2 4 7 4 0 3 ]

出      願      人            株 式 会 社 フ ジ ク ラ  
Applicant(s):

2 0 0 3 年   8 月   5 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 20020518

【提出日】 平成14年 8月27日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/13

【発明の名称】 光導波路部品の製造方法

【請求項の数】 6

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 福田 武司

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 石川 紫文

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 四方 朋子

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 佐久間 健

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 細谷 英行

**【特許出願人】****【識別番号】** 000005186**【氏名又は名称】** 株式会社フジクラ**【代理人】****【識別番号】** 100064908**【弁理士】****【氏名又は名称】** 志賀 正武**【選任した代理人】****【識別番号】** 100108578**【弁理士】****【氏名又は名称】** 高橋 詔男**【選任した代理人】****【識別番号】** 100089037**【弁理士】****【氏名又は名称】** 渡邊 隆**【選任した代理人】****【識別番号】** 100101465**【弁理士】****【氏名又は名称】** 青山 正和**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 008707**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【包括委任状番号】** 9704943**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光導波路部品の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 透明材料の内部にフェムト秒パルスレーザを集光照射し、屈折率増加領域を形成する光導波路部品の製造方法であって、

該光導波路部品のモードフィールド径が所望の値となるように、前記フェムト秒パルスレーザのパルス幅を調整し、前記透明材料の内部に集光照射することを特徴とする光導波路部品の製造方法。

【請求項 2】 前記フェムト秒パルスレーザのパルス幅は、 $490\text{ fs}$  以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路部品の製造方法。

【請求項 3】 前記フェムト秒パルスレーザのパルス幅は、 $420\text{ fs}$  以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路部品の製造方法。

【請求項 4】 前記フェムト秒パルスレーザのパルス幅は、 $210\sim 420\text{ fs}$  であることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路部品の製造方法。

【請求項 5】 前記透明材料が  $\text{SiO}_2$  を主成分とするガラス材料であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の光導波路部品の製造方法。

【請求項 6】 前記ガラス材料が石英ガラスであることを特徴とする請求項 5 に記載の光導波路部品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信分野で用いられる光導波路部品の製造方法に関し、特にフェムト秒パルスレーザによるガラスの光誘起屈折率変化を利用した光導波路部品の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

光通信などで用いられている光導波路部品の製造方法として、フェムト秒パルスレーザ光を用いた方法が提案されている（特開平9-311237号）。フェムト秒パルスレーザ光は、パルス幅が狭く、高いピーク出力を有し、集光することで高

い電場強度を実現できる。このフェムト秒パルスレーザ光を石英ガラスなどのガラス材料に集光照射すると、レーザ光の集光点にて、選択的にガラス材料内部に屈折率増加領域を誘起させることができる。このためガラス材料の内部にレーザ光を集光させ、この集光点を相対的に移動させることで、ライン状の屈折率増加領域（コア）を形成することができ、光導波路部品とすることができる。このフェムト秒パルスレーザ光を用いて光導波路部品を形成するときのレーザ照射条件と、形成された光導波路部品の光学特性との関係を調べた結果が報告されている（三浦等, レーザー研究, p 152, 2(1998)）。

#### 【 0 0 0 3 】

光導波路部品は、光ファイバなどの伝送経路と接続して光を導入し、光スイッチなどの光通信用の光部品として利用される。このため、光導波路部品を光部品として利用するためには、モードフィールド径を光ファイバと同程度とし、モードフィールド径の差によって生じる接続損失を低減することが要求される。上記した三浦等の報告では、モードフィールド径が  $4 \sim 5 \mu\text{m}$  の光導波路部品が製造できることが示されている。一般に伝送用光ファイバとして使用されるシングルモード光ファイバは、モードフィールド径が約  $7 \mu\text{m}$  である。このため光ファイバと同程度とするためには、光導波路部品のモードフィールド径を大きくする必要がある。

#### 【 0 0 0 4 】

三浦等の報告では、フェムト秒パルスレーザの平均出力を大きくすることで、モードフィールド径を大きくできることが示されている。しかし、平均出力を大きくして光導波路部品を製造した場合、屈折率増加領域（コア）の断面が真円とならず、フェムト秒パルスレーザの照射方向に伸びた楕円状となってしまう。コアが楕円状となると、光導波路部品を伝播する光の損失が偏光によって大きく左右されることとなり、実用レベルの光学特性が得られない。このため、従来のフェムト秒パルスレーザを用いた光導波路部品の製造方法では、モードフィールド径が光ファイバと同程度であり、かつ優れた光学特性を有する光導波路部品を製造することが困難であった。

#### 【 0 0 0 5 】

**【発明が解決しようとする課題】**

従って本発明の目的は、上記した事情に鑑みなされたものである。すなわちフェムト秒パルスレーザを石英ガラスに集光照射して、屈折率増加領域を形成し、所望のモードフィールド径を有し、かつ優れた光学特性を有する光導波路部品を製造する方法を提供することを目的とする。

**【0 0 0 6】****【課題を解決するための手段】**

かかる課題を解決するため、本発明者は上記した問題を解決するために鋭意検討した結果、フェムト秒パルスレーザのパルス幅を所望の値に制御し、ガラス材料に照射することで、コアの断面が円状であり、かつモードフィールド径が光ファイバと同等の光導波路部品が形成できることを見出し、本発明を完成するに至った。

すなわち、請求項 1 にかかる発明は、透明材料の内部にフェムト秒パルスレーザを集光照射し、屈折率増加領域を形成する光導波路部品の製造方法であって、

該光導波路部品のモードフィールド径が所望の値となるように、前記フェムト秒パルスレーザのパルス幅を調整し、前記透明材料の内部に集光照射することを特徴とする光導波路部品の製造方法である。

**【0 0 0 7】**

請求項 2 にかかる発明は、前記フェムト秒パルスレーザのパルス幅は、4 9 0 f s 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路部品の製造方法である。

**【0 0 0 8】**

請求項 3 にかかる発明は、前記フェムト秒パルスレーザのパルス幅は、4 2 0 f s 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路部品の製造方法である。

**【0 0 0 9】**

請求項 4 にかかる発明は、前記フェムト秒パルスレーザのパルス幅は、2 1 0 ～ 4 2 0 f s であることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路部品の製造方法である。

**【0010】**

請求項5にかかる発明は、前記透明材料が $\text{SiO}_2$ を主成分とするガラス材料であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載の光導波路部品の製造方法である。

**【0011】**

請求項6にかかる発明は、前記ガラス材料が石英ガラスであることを特徴とする請求項5に記載の光導波路部品の製造方法である。

**【0012】****【発明の実施の形態】****[第1の実施形態]**

以下、図面を参照して本発明の一実施形態を説明する。図1は、本実施形態の光導波路部品の製造方法の一例を示す概略構成図である。基材となる透明材料には、ケイ酸塩系ガラスである石英ガラスを使用する。ケイ酸塩系ガラスは、 $\text{SiO}_2$ を主成分とし、耐薬品性、耐環境性に優れ、比較的安価で入手しやすく、かつパルスレーザによる屈折率の増加量が大きいため、本実施形態にて好ましく使用でき、これにより光導波路部品を安価で、容易に製造できる。更に石英ガラスを用いることによって、光学特性に優れた光導波路部品を製造できる。

**【0013】**

この石英ガラス基板1をXYZステージ（図示省略）に固定し、石英ガラス基板1を精密にx、y、z軸方向に移動できるようにする。次に石英ガラス基板1の上基板面の上方にレーザ出射口2aが位置するようにレーザ装置2を設け、更に対物レンズ3を設置する。このレーザ出射口2aからフェムト秒パルスレーザ光4を出射し、対物レンズ3により石英ガラス基板1の内部に集光照射する。集光点5において、しきい値以上の電場強度が得られると、石英ガラス基板1は誘起され、屈折率が増加する。石英ガラス基板1を誘起させるためのフェムト秒パルスレーザ光4の照射、集光条件を以下に示す。

**【0014】**

本実施形態では、集光点5における1パルスあたりの光強度 $P_s$ は、 $3.4 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$ である。このとき集光点5では、石英ガラス基板1内部に屈折

率増加領域 6 が誘起される。ここで、対物レンズ 3 に入射する前のフェムト秒パルスレーザ光 4 の平均出力は 700 mW であり、繰り返し周波数は 200 kHz であるので、対物レンズ 3 に入射する前のフェムト秒パルスレーザ光 4 の 1 パルスあたりの光強度  $P_1$  は、 $1.4 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$  となる。この対物レンズ 3 に入射する前のフェムト秒パルスレーザ光 4 の 1 パルスあたりの光強度  $P_1$  と、フェムト秒パルスレーザ光 4 のビーム径、集光点 5 での集光スポット径より、フェムト秒パルスレーザ光 4 の集光点 5 における 1 パルスあたりの光強度  $P_s$  は、以下の式 (1) で表される。

【0015】

【数 1】

$$P_s = P_1 \times \frac{(\text{フェムト秒パルスレーザ光のビーム径})}{(\text{集光スポット径})} \quad (1)$$

【0016】

このように、フェムト秒パルスレーザ光 4 の平均出力、繰り返し周波数を適宜決定して、対物レンズ 3 に入射する前のフェムト秒パルスレーザ光 4 の 1 パルスあたりの光強度  $P_1$  を所望の値とし、更に対物レンズ 3 の種類を適宜決定して、フェムト秒パルスレーザ光 4 を所望の集光スポット径に集光することによって、集光点 5 における 1 パルスあたりの光強度  $P_s$  を所望の値とすることができる。これにより、石英ガラス基板 1 を誘起させることができ、コアとなる屈折率増加領域 6 を形成できる。

【0017】

次に本実施形態では、集光点 5 を相対的に走査させることで、ライン状の屈折率増加領域 6 を形成し、光導波路部品とする。このとき集光点 5 の走査速度を調整することによって、一定の領域に照射されるフェムト秒パルスレーザ光 4 の照射回数を制御できる。このため例えば走査速度を遅くすることで、単位面積当たりのフェムト秒パルスレーザ光 4 の照射回数を増加させ、誘起による屈折率増加量を大きくすることができる。



## 【0018】

また走査速度に応じて、フェムト秒パルスレーザ光4の繰り返し周波数を適宜調整することが好ましい。繰り返し周波数は特に限定されないが、通常1kHz～4MHzである。このとき集光点5を相対的に走査させると、ライン状に連続的に石英ガラス基板1を誘起でき、連続した屈折率増加領域6を形成でき、光導波路部品とすることができる。繰り返し周波数が小さい場合、集光点5を相対的に走査させると、フェムト秒パルスレーザ光4が離散的に照射され、光導波路部品とすることができなくなる。また繰り返し周波数が大きい場合、フェムト秒パルスレーザ光4の1パルス当たりの電場強度が小さくなり、集光点5にて十分な電場強度が得られなくなる。従って石英ガラス基板1を誘起できず、屈折率増加領域6を形成できなくなる。

## 【0019】

集光点5を相対的に走査させて、ライン状の屈折率増加領域6を形成する際、複数回の走査を行っても構わない。形成した屈折率増加領域6に、再度フェムト秒パルスレーザ光4を集光照射することによって、石英ガラス基板1を再び誘起させ、更に屈折率を増加させることができる。走査回数を増やすことによって、コアとなる屈折率増加領域6の断面を円形に保ったまま、コアの屈折率を増加させることができる。このため所望の回数走査することで、コアの屈折率を所望の値として、光導波路部品を製造できる。

## 【0020】

以上のように、集光点5を走査することによりライン状の屈折率増加領域6を形成でき、光導波路部品とすることができる。このとき上記したように、走査速度、繰り返し周波数、走査回数を適宜決定することにより、屈折率増加領域6の断面を円形に保ったまま、コアの屈折率を増加させ、目的とする屈折率分布とすることができる。これにより所望の優れた光学特性を有する光導波路部品が実現できる。

## 【0021】

本実施形態では、フェムト秒パルスレーザ光4のパルス幅を調整することで、光導波路部品のモードフィールド径を制御する。モードフィールド径は、製造さ

れた光導波路部品の光強度のニアフィールドパターンより測定したものである。図2は、本実施形態の方法にて製造された光導波路部品のモードフィールド径と、フェムト秒パルスレーザのパルス幅との関係の一例を示す概略模式図である。フェムト秒パルスレーザ光4のパルス幅を調整することによって、図2に示されたように、モードフィールド径を制御できる。表1は、図2に示された光導波路部品に、モードフィールド径が $12.5\mu\text{m}$ のシングルモード光ファイバを接続したときの接続損失をシミュレーションにより算出した値である。モードフィールド径が $12.5\mu\text{m}$ 程度の光導波路部品を製造する場合、フェムト秒パルスレーザ光4のパルス幅は $490\text{fs}$ 以下であり、好ましくは $420\text{fs}$ 以下であり、更に好ましくは $210\sim 420\text{fs}$ である。このとき図2に示されたようにモードフィールド径が $12.5\mu\text{m}$ 程度の光導波路部品が製造でき、これにより表1に示されたように、モードフィールド径が $12.5\mu\text{m}$ のシングルモード光ファイバを接続したときの接続損失を低減できる。

【0022】

【表1】

パルス幅 (fs)	接続損失 (dB)
210	0.25
280	0.26
350	0.28
420	0.26
490	0.33
560	0.68

【0023】

上記した方法と同様にして、パルス幅を調整することによって、 $12.5\mu\text{m}$  以外のモードフィールド径とすることもできる。このためフェムト秒パルスレーザー光 4 のパルス幅を所望の値に調整し、石英ガラス基板 1 に集光照射することによって、所望のモードフィールド径を有する光導波路部品が製造できる。従って、接続する光ファイバとはほぼ同等のモードフィールド径を有し、これにより低損失で光ファイバと接続できる光導波路部品が製造できる。更に本実施形態の方法で製造された光導波路部品は、コアとなる屈折率増加領域 6 の断面を屈折ニアフィールド法により測定した結果、コアの断面が円形であることが分かる。このように、コアの断面が円形であるため、光導波路部品を伝播する光の損失は偏光によって大きく左右されることがなく、優れた光学特性が実現できる。

#### 【0024】

なお、光導波路部品の基材となる透明材料としては、フェムト秒パルスレーザー光 4 を照射して誘起され、屈折率が増加するものが使用でき、例えば光学用高分子材料、ガラス材料などが挙げられる。光学用高分子材料としては、フッ素化ポリイミド、重水素化シリコン、ポリメタクリレートなどが使用できる。ガラス材料としては、ケイ酸塩系ガラス、硼酸塩系ガラス、燐酸塩系ガラス、弗燐酸塩系ガラス、ビスマス系ガラス、ハロゲン化物ガラス、硫化物ガラス、カルコゲナイドガラスなどが使用できる。ケイ酸塩系ガラスとしては、 $\text{SiO}_2$  で表される石英ガラス、ボロシリケートガラス、アルミナシリケートガラスなどが使用できる。ハロゲン化物ガラスとしては、 $\text{BeF}_2$ 、 $\text{ZrF}_4$ 、 $\text{InF}_3$ 、 $\text{Cd-Zn-Cl}$  系ガラスなどが使用できる。硫化物ガラスとしては、 $\text{Ga-La-S}$  系ガラスなどが使用でき、またカルコゲナイドガラスとしては、 $\text{Se-As}$  系ガラスなどが使用できる。また上記したガラス材料は、ゲルマニウム、アルミニウム、リン、フッ素からなるドーパント群のうち少なくとも 1 種、又は 2 種以上をドーパントとして添加され、所望の屈折率となるように調整されていても構わない。

#### 【0025】

また本実施形態は、上述したフェムト秒パルスレーザー光 4 のパルス幅、平均出力、中心波長、繰り返し周波数などの照射条件、対物レンズ 3 の倍率などの集光条件などを所望の値に調整した後、フェムト秒パルスレーザー光 4 を透明材料の内

部に集光照射してもよいが、フェムト秒パルスレーザ光4を透明材料の内部に集光照射後、上記した照射条件、集光条件を調整しても構わない。このとき条件を調整する前に形成した光導波路部品を切り取ることで、一定の光学特性の光導波路部品とすることができる。またフェムト秒パルスレーザ光4を集光照射しながら、照射条件、集光条件を長手方向の各位置にて所望の値に調整することによって、モードフィールド径などの光学特性が長手方向に変化する光導波路部品を製造できる。

### 【0026】

#### 〔第2の実施形態〕

本実施形態の光導波路部品の製造方法が、上述した第1の実施の形態と異なる点は、石英ガラス基板1とレーザ装置2とが固定され、対物レンズ3の焦点を調整することでライン状の屈折率増加領域6を形成する点である。他の構成は第1の実施形態と同様であるため、詳細な説明は省略する。図3は、本実施形態の光導波路部品の製造方法の他の一例を示す概略構成図である。石英ガラス基板1を所望の位置に固定する。図3に示されたように、光導波路部品の入射端又は出射端となる石英ガラス基板1の基板面から所望の距離離れた位置にレーザ装置2を設置し、固定する。対物レンズ3は、焦点を調整できる機能が付与されている。フェムト秒パルスレーザ光4を石英ガラス基板1内に集光照射し、屈折率増加領域6を形成する。このとき対物レンズ3の焦点を調整し、集光点5を所望の速度で走査し、ライン状の屈折率増加領域6を形成し、光導波路部品とする。石英ガラス基板1とレーザ装置2とが固定され、対物レンズ3の焦点を調整することで集光点5を走査するため、集光点5の位置が図3中のx y軸方向にずれることが無く、これにより一直線状の屈折率増加領域6を精密に形成できる。

### 【0027】

#### 【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、請求項1乃至6に係る発明によれば、所望のモードフィールド径を有し、かつコアの断面が円状である光導波路部品がフェムト秒パルスレーザを用いることによって製造できる。これにより接続する光ファイバのモードフィールド径とほぼ同等の光導波路部品が製造でき、低損失で光ファ

イバと接続できる光導波路部品が実現できる。更にコアの断面が円状であり、伝播する光の損失が偏光により左右されず、優れた光学特性が実現できる。また請求項2乃至4に係る発明によれば、伝送用として一般に使用されているシングルモード光ファイバのモードフィールド径とほぼ同等の光導波路部品が製造できる。更に請求項5及び6に係る発明によれば、 $\text{SiO}_2$ を主成分とするケイ酸塩系ガラスは、耐薬品性、耐環境性に優れ、比較的安価で入手しやすく、かつパルスレーザによる屈折率の増加量が大きいいため、光導波路部品を安価で、容易に製造できる。更に石英ガラスを用いることによって、光学特性に優れた光導波路部品を製造できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本実施形態の光導波路部品の製造方法の一例を示す概略構成図である。

【図2】本実施形態で製造された光導波路部品のモードフィールド径と、製造時のフェムト秒パルスレーザのパルス幅との関係の一例を示す概略模式図である。

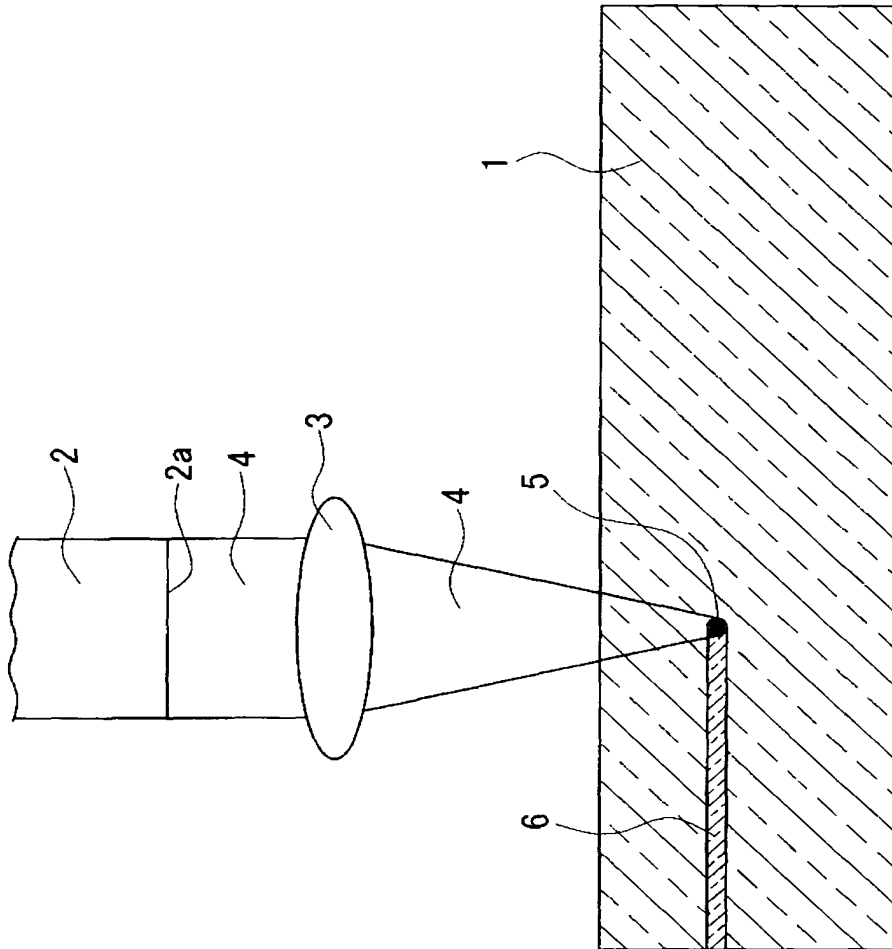
【図3】本実施形態の光導波路部品の製造方法の他の一例を示す概略構成図である。

#### 【符号の説明】

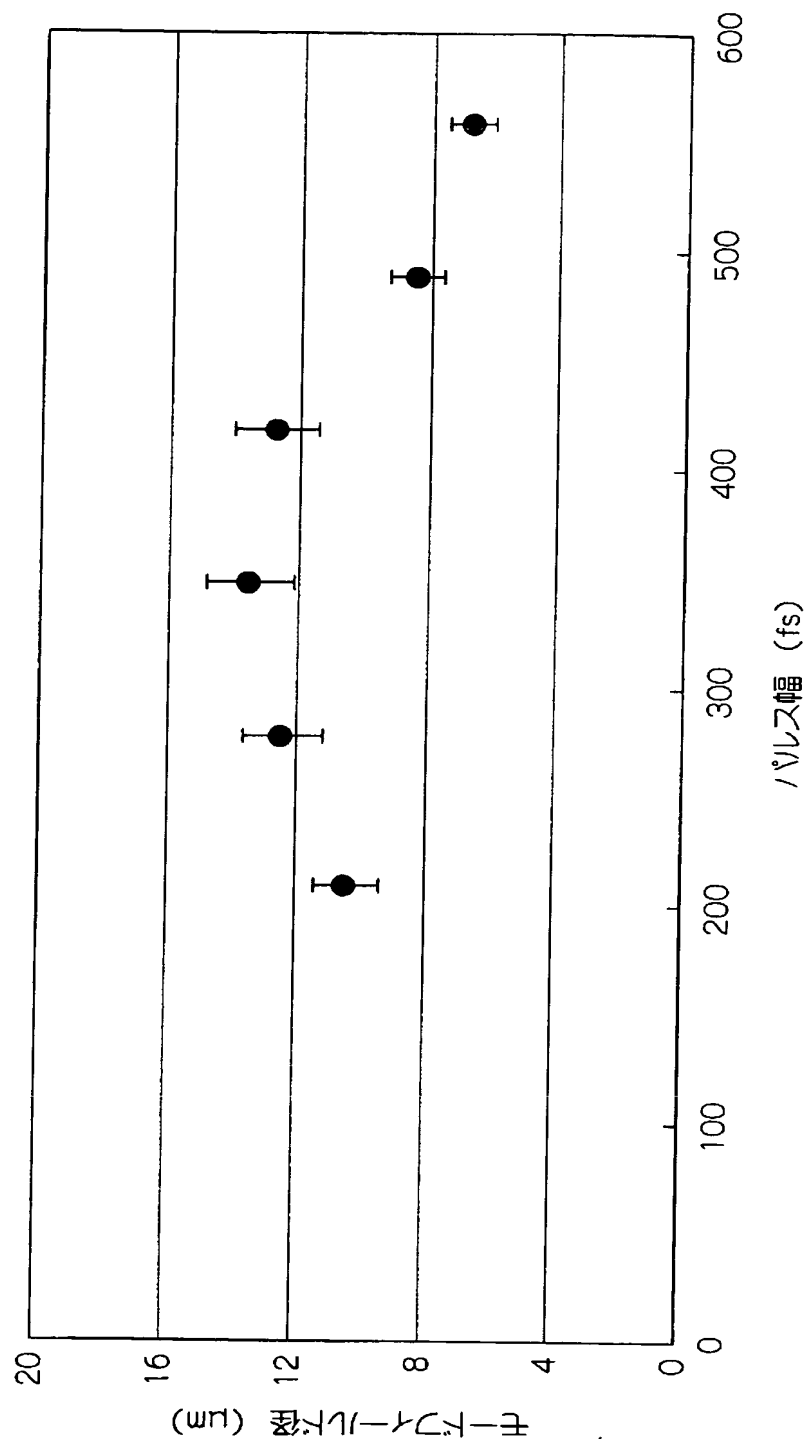
1・・・石英ガラス基板、4・・・フェムト秒パルスレーザ光、6・・・屈折率増加領域

【書類名】 図面

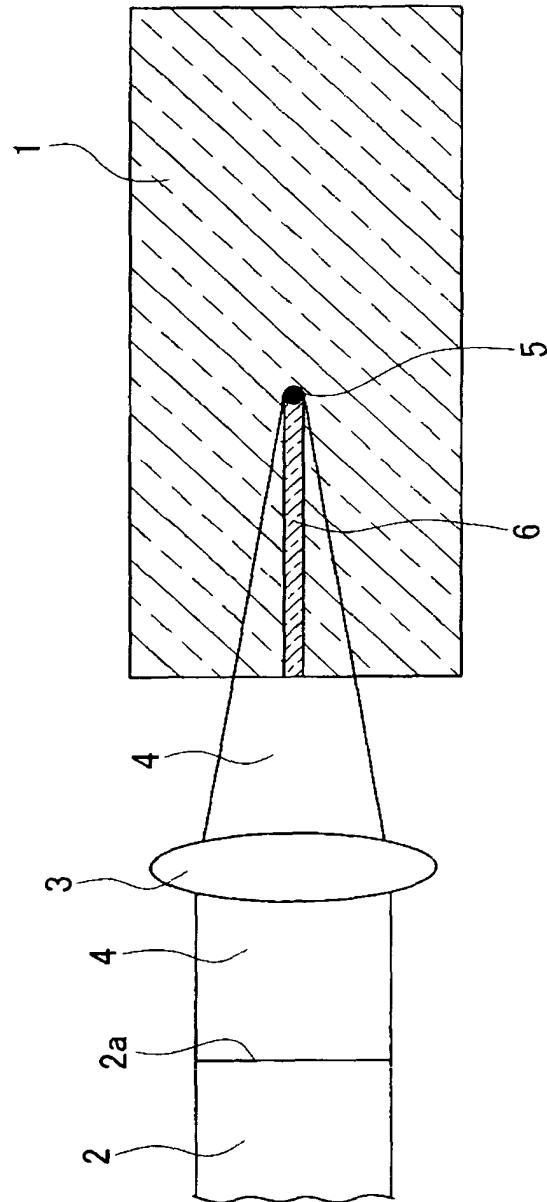
【図 1】



【図 2】



【図 3】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、所望のモードフィールド径を有し、かつ優れた光学特性を有する光導波路部品を製造する方法を提供する。

【解決手段】 本発明の光導波路部品の製造方法は、透明材料 1 の内部にフェムト秒パルスレーザ 4 を集光照射し、高屈折領域 6 を形成する光導波路部品の製造方法であって、該光導波路部品のモードフィールド径が所望の値となるように、前記フェムト秒パルスレーザ 4 のパルス幅を調整し、前記透明材料 1 の内部に集光照射する構成とする。前記フェムト秒パルスレーザ 4 のパルス幅は、 $490\text{ fs}$  以下が好ましく、更に好ましくは  $420\text{ fs}$  以下であり、最も好ましくは  $210\sim 420\text{ fs}$  である。また前記透明材料 1 は、 $\text{SiO}_2$  を主成分とするガラス材料が好ましく、更に好ましくは石英ガラスである。

【選択図】 図 1



特願 2 0 0 2 - 2 4 7 4 0 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 1 8 6 ]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 6 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都江東区木場 1 丁目 5 番 1 号

氏 名

藤倉電線株式会社

2 . 変更年月日

1 9 9 2 年 1 0 月 2 日

[変更理由]

名称変更

住 所

東京都江東区木場 1 丁目 5 番 1 号

氏 名

株式会社フジクラ